

## **Mesin listrik berputar**

### **Bagian 3: Persyaratan khusus mesin sinkron jenis yang terpasang pada turbin**





## Daftar isi

|  |   |
|--|---|
| Daftar isi.....  | i |
| Pasal satu – Ruang lingkup .....   | 1 |
| 1 Ruang lingkup.....   | 1 |
| Pasal dua – Umum .....   | 1 |
| 2 Ketentuan .....  | 1 |
| 3 Tegangan pengenalan.....   | 1 |
| 4 Kecepatan pengenalan.....  | 1 |
| 5 Julat tegangan dan frekuensi.....  | 2 |
| 6 Arah putaran .....   | 2 |
| 7 Belitan stator.....  | 2 |
| 8 Tegangan dan arus medan pengenalan mesin .....   | 3 |
| 9 Isolasi mesin .....  | 3 |
| 9.1 Kelas isolasi.....   | 3 |
| 9.2 Uji dielektrik.....  | 3 |
| 10 Isolasi terhadap arus poros.....  | 3 |
| 11 Uji kecepatan lebih.....  | 3 |
| 12 Kecepatan putaran kritis .....  | 3 |
| 13 Diagram kemampuan.....  | 4 |
| 14 Persyaratan arus lebih.....   | 4 |
| 15 Hubung singkat mendadak .....   | 5 |
| 16 Rasio hubung singkat dan reaktans transien sumbu direk ( $X_d'$ ) dan reaktansi sub-transien ( $X_d''$ )..... | 5 |
| 16.1 Rasio hubung singkat .....  | 5 |
| 16.2 Reaktans transien sumbu direk dan reaktans sub-transien .....   | 5 |
| 16.3 Toleransi pada rasio hubung singkat dan transien sumbu bujur serta reaktansi sub-transien .....             | 6 |
| 17 Kekuatan mekanis terhadap jumlah asut untuk generator normal.....   | 6 |
| Pasal tiga — Mesin berpendingin udara.....   | 6 |
| 18 Faktor daya .....   | 6 |
| 19 Rasio arus hubung singkat (lihat pula sub-ayat 16.1).....   | 6 |
| 20 Pendinginan mesin .....   | 7 |
| 21 Suhu bahan pendingin primer.....  | 7 |
| 22 Detektor suhu.....  | 7 |



|   |   |    |
|---|---|----|
| 23  | Pendingin udara .....   | 7  |
| 24  | Tekanan hydrogen dalam rumah mesin ( <i>casing</i> ) .....      | 8  |
| 25  | Faktor daya .....   | 8  |
| 26  | Rasio Hubung singkat (lihat juga sub-ayat 16.1) .....           | 8  |
| 27  | Rumah mesin dan pelat penutup .....                             | 8  |
| 28  | Terminal belitan stator.....                                    | 8  |
| 29  | Suhu bahan pendingin primer, suhu dan kenaikan suhu mesin ..... | 9  |
| 30  | Ketinggian .....  | 9  |
| 31  | Detektor suhu.....  | 9  |
| 32  | Gas atau cairan pendingin .....                                 | 10 |
| 33  | Sistem alat bantu .....   | 10 |
| Pasal lima – Mesin jenis-turbin yang digerakkan oleh turbin gas ..... |   | 11 |
| 34  | Kondisi pelayanan.....  | 11 |
| 34.1  | Suhu bahan pendingin primer .....                               | 11 |
| 34.2  | Jumlah asut.....  | 12 |
| 34.3  | Penerapan beban.....  | 12 |
| 35  | Pengenal dan kemampuan .....                                    | 12 |
| 35.1  | Keluaran pengenal .....   | 12 |
| 35.2  | Kemampuan.....  | 12 |
| 36  | Pelat pengenal .....  | 14 |
| 37  | Uji Suhu.....   | 14 |
| 38  | Operasi sebagai kompensator sinkron.....                        | 14 |



## Prakata

Standar Nasional Indonesia (SNI) mengenai Mesin Listrik Berputar, Bagian 3: Persyaratan Khusus Mesin Sinkron Jenis yang Terpasang pada Turbin, diadopsi sepenuhnya dari Standar International Electrotechnical Commission (IEC) Publikasi 60034-3 Tahun 1988-08 dengan judul *"Rotating electrical machines, Part 3: Specific requirements for turbine-type synchronous machines"*, Standar ini dirumuskan oleh Panitia Teknik Mesin Listrik Berputar (PTMS) masa kerja 2000.

Keanggotaan Panitia Teknik tersebut ditetapkan dengan Keputusan Menteri Pertambangan dan Energi Nomor : 50-12/40/600.3/1998 tanggal 21 Agustus 1998, sebagai :

|                    |                          |
|--------------------|--------------------------|
| Ketua Harian       | : Ir. J. Soekarto        |
| Wakil Ketua Harian | : Ir. Ishak Sastranegara |
| Sekretaris I       | : Ir. B.H. Pasaribu      |
| Sekretaris II      | : Ir. Zairinal Zainuddin |

Ketika dalam taraf Rancangan Standar Nasional Indonesia (RSNI) ini telah melalui proses/prosedur perumusan standar dan terakhir dibahas dalam Forum Konsensus ke XVI pada tanggal 22 s.d 24 Nopember 2000 untuk mencapai mufakat.

Dalam rangka mempertahankan mutu ketersediaan standar yang tetap mengikuti perkembangan, maka diharapkan masyarakat standardisasi ketenagalistrikan memberikan saran dan usul perbaikan demi kesempurnaan rancangan ini dan tak kalah pentingnya untuk revisi standar ini kemudian hari.

Semoga SNI ini bermanfaat bagi kita terutama dalam menunjang pembangunan nasional untuk kesejahteraan rakyat.







## Mesin listrik berputar

### Bagian 3: Persyaratan khusus mesin sinkron jenis yang terpasang pada turbin

#### Pasal satu – Ruang lingkup

##### 1 Ruang lingkup

Standar ini berlaku untuk mesin sinkron fase-3 yang terpasang pada turbin, dengan keluaran pengenal  $\geq 10$  MVA yang dipakai sebagai generator, selanjutnya disebut mesin jenis turbin.

Semua ayat yang sesuai dapat berlaku untuk mesin yang digunakan sebagai motor sinkron atau kompensator.

Standar ini merupakan suplemen/tambahan terhadap persyaratan dasar untuk mesin berputar yang diberikan sesuai SNI 04-1933-1990. Standar ini tidak berlaku untuk mesin yang tidak termasuk dalam ruang lingkup SNI 04-1933-1990.

Bagian Dua pada standar ini menentukan persyaratan khusus yang berlaku untuk semua mesin jenis turbin. Bagian Tiga pada standar ini menentukan persyaratan lanjutan untuk mesin jenis turbin dengan pendingin udara.

Bagian Empat pada standar ini menentukan persyaratan tambahan untuk mesin jenis turbin yang didinginkan dengan Hydrogen atau zat cair.

Bagian Lima pada standar ini menentukan persyaratan khusus untuk mesin jenis turbin yang digerakkan oleh turbin gas.

**CATATAN 1** Persyaratan khusus untuk penguat states dan penguat berputar masih dalam pertimbangan dan direncanakan dimasukkan dalam bagian enam dari IEC 34-3.

**CATATAN 2** Pengujian untuk menentukan efisiensi dan besaran-besaran mesin sinkron diuraikan dalam IEC 34-2 dan IEC 34-4.

#### Pasal dua – Umum

##### 2 Ketentuan

Mesin jenis turbin harus berdasarkan persyaratan standar untuk mesin berputar yang ditentukan dalam SNI 04-1933-1990 kecuali ditentukan lain dalam standar ini. Apabila dalam standar ini menunjuk kepada kesepakatan, maka yang dimaksud adalah kesepakatan antara pabrikan dan pembeli.

##### 3 Tegangan pengenal

Tegangan pengenal ditetapkan berdasarkan kesepakatan

##### 4 Kecepatan pengenal

Kecepatan pengenal mesin 1500 putaran/menit atau 3000 putaran/menit untuk 50 Hz, dan 1800 putaran/menit atau 3600 putaran/menit untuk 60 HZ.



## 5 Julat tegangan dan frekuensi

Mesin harus mampu beroperasi dengan keluaran pengenalan secara kontinu pada faktor daya pengenalan dalam julat tegangan 5% dan frekuensi 2% seperti ditetapkan oleh daerah yang diarsir pada Gambar 1.

Batas kenaikan suhu dalam Tabel 1 dan 2 atau batas kenaikan suhu total dalam Tabel 3 dari SNI 04-1933-1990 hanya berlaku untuk tegangan dan frekuensi pengenalan.

**CATATAN 1** Apabila titik operasi bergerak menjauhi nilai pengenalan tegangan dan frekuensi, maka kenaikan suhu atau kenaikan suhu total dapat meningkat secara tajam. Pengoperasian secara kontinu pada keluaran pengenalan pada bagian tertentu dan batas daerah yang diarsir menyebabkan kenaikan suhu sebesar kira-kira 10 K. Mesin juga mampu menghasilkan keluaran pada faktor daya pengenalan dalam julat tegangan  $\pm 5\%$  dan frekuensi  $\pm 3\%$  dan  $-5\%$ , seperti yang ditentukan oleh batas terluar pada gambar 1, tetapi kenaikan suhu akan terus bertambah.

**CATATAN 2** Oleh karena itu untuk memperkecil pengurangan umur mesin akibat pengaruh suhu atau perbedaan suhu, maka pengoperasian di luar daerah yang diarsir harus dibatasi besarnya, lamanya dan seringnya kejadian tersebut. Daya keluaran harus dikurangi atau dilakukan tindakan korektif lainnya sejauh dapat dilaksanakan.

Jika dikehendaki operasi tetap berada pada julat yang lebar dari tegangan atau frekuensi maka hal ini harus merupakan kesepakatan.

**CATATAN 3** Tegangan lebih dengan frekuensi yang rendah, atau tegangan yang rendah dengan frekuensi lebih, merupakan kondisi operasi yang tak dikehendaki. Keadaan terakhir merupakan kondisi yang kemungkinan besar akan meningkatkan kenaikan suhu belitan medan.

Gambar 1 menunjukkan operasi dalam kuadran ini dibatasi untuk kondisi yang akan menyebabkan mesin dan transformatornya menjadi kekurangan atau kelebihan fluksi tidak lebih dari 5%.

**CATATAN 4** Batas kelebihan penguatan dan stabilitas dapat dikurangi oleh beberapa kondisi operasi seperti pada Gambar 2.

**CATATAN 5** Ketika frekuensi operasi menyimpang dari frekuensi pengenalan, pengaruh diluar generator akan menjadi penting dan harus dipertimbangkan. Sebagai contoh, pabrik pembuat turbin harus menetapkan julat frekuensi dan periodenya sesuai dimana turbin dapat beroperasi dan harus mempertimbangkan kemampuan perlengkapan bantu yang beroperasi pada julat tegangan dan frekuensi yang ditetapkan.

## 6 Arah putaran

Karena generator hanya berputar ke satu arah, yang ditentukan oleh turbin, maka SNI 04-1932-1990 dengan judul "Penandaan Terminal dan Arah Putaran Mesin Sinkron" tidak berlaku. Arah putaran harus ditunjukkan pada mesin atau pada pelat pengenalan (dan urutan waktu— fase dari tegangan stator harus dinyatakan dengan penandaan terminal dalam urutan abjad seperti U 1, V1, W1).

## 7 Belitan stator

Belitan stator dapat terhubung bintang atau delta kecuali dinyatakan lain secara khusus maka



hubungan ditetapkan bintang. Dalam keadaan apapun ujung ke enam belitan harus dikeluarkan kecuali ditentukan lain.

## 8 Tegangan dan arus medan pengenalan mesin

Tegangan dan arus medan pengenalan mesin adalah nilai yang diperlukan oleh belitan medan sehingga mesin beroperasi pada kondisi pengenalan dari daya semu tegangan frekuensi faktor daya dan bila dapat diterapkan untuk tekanan Hydrogen dengan belitan medan pada suhu operasi yang sesuai dengan suhu bahan pendingin primer yang terjadi pada kondisi operasi tersebut di atas ketika bahan pendingin akhir berada pada suhu maximum yang ditetapkan.

## 9 Isolasi mesin

### 9.1 Kelas isolasi

Sistem Isolasi yang digunakan untuk belitan harus dari kelas B atau dengan klasifikasi termal lebih tinggi

### 9.2 Uji dielektrik

Uji tegangan tinggi harus sesuai SNI 04-1933-1990 kecuali untuk tegangan uji belitan medan.

Tegangan tersebut harus:

- Untuk tegangan medan pengenalan sampai 500 V : 10 kali tegangan medan pengenalan dengan minimum 1500 V
- Untuk tegangan medan pengenalan diatas 500 V : 4000 V + dua kali tegangan medan pengenalan

## 10 Isolasi terhadap arus poros

Tindakan pencegahan yang memadai perlu dilakukan untuk mencegah mengalirnya arus poros yang membahayakan dan agar membumikan poros rotor dengan secukupnya. Isolasi apapun yang diperlukan diatur sedemikian rupa sehingga arus poros dapat diukur ketika mesin beroperasi.

## 11 Uji kecepatan lebih

Rotor mesin jenis turbin harus di uji pada 1,2 kali kecepatan pengenalan selama 2 menit.

## 12 Kecepatan putaran kritis

Kecepatan putar kritis satu set rotor yang lengkap harus tidak mengakibatkan operasi yang tak mengganggu dalam julat kecepatan putaran sesuai julat frekuensi yang disepakati



berdasarkan ayat 5 (lihat IEC publikasi 45).

### 13 Diagram kemampuan

Pabrikan harus menyampaikan diagram kemampuan yang menyatakan batasan pengoperasian yang ditentukan oleh suhu atau kenaikan suhu dan bila memungkinkan oleh stabilitas keadaan ajek. Diagram menunjukkan operasi pada tegangan dan frekuensi pengenal, dan untuk mesin berpendingin hidrogen pada tekanan hidrogen pengenal. Suatu diagram tipikal diperlihatkan dalam Gambar2, batas-batasnya ditentukan oleh batasan berikut;

- Kurva A menunjukkan operasi dengan arus medan pengenal konstan dan oleh karena itu kenaikan suhu belitan medan mendekati konstan.
- Kurva B menyatakan arus stator pengenal yang konstan dan oleh karena itu kenaikan suhu belitan stator mendekati konstan.
- Kurva C menyatakan batas yang ditentukan oleh pemanasan daerah ujung belitan yang dilokalisasi, atau oleh stabilitas keadaan ajek, atau oleh pengaruh keduanya.

Dengan persetujuan antara pabrikan dan pembeli, dapat digunakan diagram lain untuk pengoperasian dengan kondisi yang disepakati pada tegangan dan julat frekuensi berdasarkan ayat 5, tekanan hidrogen yang berbeda dari tekanan pengenal.

Generator harus beroperasi di dalam batas diagram sesuai dengan kondisi yang dipilih pada tegangan dan frekuensi dan tekanan hidrogen jika dapat diterapkan. Operasi di luar batas ini akan memperpendek umur mesin.

### 14 Persyaratan arus lebih

Mesin dengan keluaran pengenal sampai 1200 MVA harus mampu di bebani arus stator 1.5 per unit selama 30 detik tanpa mengalami kerusakan.

Untuk pengenal lebih besar dari 1.200 MVA, harus ada kesepakatan mengenai lamanya waktu yang lebih kecil dari 30 detik, dan berkurang lagi hingga minimum 15 detik, jika pengenal meningkat, dengan arus tetap pada 1,5 per unit untuk semua pengenal. Lancarnya waktu dapat lebih kecil dari 30 detik dan minimum 15 detik. Makin besar pengenalnya, waktu pengujian akan mengecil dengan minimum 15 detik.

Mesin harus mampu terhadap kombinasi arus lebih dan waktu lainnya yang menghasilkan suatu tingkatan pertambahan input panas yang disebabkan arus I.P.U  
Jadi untuk mesin hingga 1200 MVA.

$$(I^2 - I) t = 37,5 \text{ detik}$$

dengan:

I adalah stator per unit

t adalah lamanya dalam detik

Persamaan tersebut berlaku untuk nilai t antara 10 detik dan 60 detik

**CATATAN** : Telah diketahui bahwa suhu stator akan melampaui suhu pada nilai beban pengenal pada kondisi ini, oleh karena itu konstruksi mesin didasarkan pada asumsi jumlah operasi pada kondisi Batas yang ditetapkan tidak melebihi dua kali operasi per tahun.



## 15 Hubung singkat mendadak

Mesin harus didesain tahan terhadap setiap jenis hubung singkat pada terminalnya tanpa kegagalan pada saat beroperasi pada beban pengenalan dan tegangan pengenalan 1,05 p.u, asalkan arus fase maksimum dibatasi oleh sarana eksternal hingga nilai yang tidak melampaui arus fase maksimum yang diperoleh dari hubung singkat tiga fase. Tanpa kegagalan berarti mesin tidak mengalami kerusakan sehingga menyebabkan terputus dari pelayanan, walaupun demikian beberapa deformasi boleh terjadi pada belitan stator.

Telah disepakati antara pembeli dan pabrikan bahwa uji hubung singkat harus dilaksanakan pada mesin baru, dan harus dilaksanakan setelah uji dielektrik tegangan penuh pada uji serah terima sebagai berikut;

Suatu mesin yang akan dihubungkan langsung ke sistem harus dihubungkan singkat 3 fase pada terminalnya ketika diberi tegangan penguatan pengenalan pada beban nol. Untuk mesin yang akan dihubungkan ke sistem melalui transformator atau reaktor (biasanya melalui fase busbar yang terisolasi). Pengujian pada terminal dilaksanakan pada tegangan yang dikurangi yang disepakati antara pembeli dengan pabrikan, untuk menghasilkan arus stator yang sama besar yang dihasilkan dalam pelayanan dan melalui hubung singkat tiga fase yang diterapkan pada terminal tegangan tinggi dari transformator.

Pengujian ini dianggap memuaskan jika kemudian mesin terbukti memenuhi pelayanan tanpa perbaikan atau hanya perbaikan kecil pada belitan stator dan jika tahan uji tegangan tinggi sebesar 80% dari nilai yang ditentukan dalam SNI 04-1933-1990 untuk mesin baru. Istilah perbaikan kecil maksudnya yaitu perlu perhatian ke kerangka ujung belitan dan isolasi yang dipakai, tetapi tidak berupa penggantian lilitan.

**CATATAN** Arus besar dan torsi abnormal dapat terjadi sebagai akibat hubung singkat dekat ke generator pada saat pelayanan, atau akibat pembukaan atau penutupan pemutus tenaga akibat suatu gangguan yang lebih jauh dari generator, atau kegagalan sinkronisasi. Jika keadaan demikian menyebabkan arus lebih yang membahayakan, maka sebaiknya memeriksa mesin secara menyeluruh dengan perhatian khusus ke belitan stator. Setiap penunjang atau pengemasan yang longgar harus dikencangkan sebelum mengembalikan mesin ke pelayanan, untuk menghindari kemungkinan kerusakan akibat getaran. Mungkin juga diperlukan pemeriksaan kemungkinan deformasi baut kopling, kopling dan poros.

## 16 Rasio hubung singkat dan reaktans transien sumbu direk ( $X_d'$ ) dan reaktansi sub-transien ( $X_d''$ ).

### 16.1 Rasio hubung singkat

Nilai minimum yang di standarkan diberikan dalam ayat 18 dan 26. Nilai minimum yang lebih tinggi dapat ditetapkan atau disepakati, namun biasanya akan memperbesar ukuran mesin.

### 16.2 Reaktans transien sumbu direk dan reaktans sub-transien

Reaktansi transien sumbu bujur dan reaktans sub-transien harus ditetapkan atau disepakati dan berdasarkan kondisi operasi. Cukup apabila ditetapkan atau disepakati nilai minimum reaktansi sub-transien pada tingkat jenuh dari tegangan pengenalan dan kadang-kadang nilai maksimum reaktansi transien sumbu bujur pada kondisi tak jenuh dari arus pengenalan. Karena kedua reaktans tergantung kepada fluksi bersama yang besar, maka harus



diperhatikan bahwa nilai yang ditetapkan atau disepakati dapat sesuai, yaitu bahwa batas atas reaktansi sub-transien tidak ditetapkan terlalu dekat ke batas bawah transien. Kecuali telah ditetapkan atau disepakati maka nilai reaktans sub transien sumbu bujur harus tidak kurang dari 0,1 p.u pada tingkat jenuh dari tegangan pengenalan.

Nilai setiap reaktans dapat ditetapkan atau disepakati pada tingkat kejenuhan yang lain berdasarkan IEC 34-4.

Apabila disepakati bahwa nilai-nilai tersebut ditetapkan dari pengujian, maka pengujian harus dilaksanakan berdasarkan IEC 34-4.

### 16.3 Toleransi pada rasio hubung singkat dan transien sumbu bujur serta reaktansi sub transien

- 1 Apabila nilai batas dalam standar ini atau batas lainnya telah ditetapkan atau disepakati maka tidak ada toleransi pada arah yang signifikan yaitu tidak ada toleransi pada arah negatif dari nilai minimum dan tidak ada toleransi pada arah positif dari nilai maksimum. Dalam arah yang lain berlaku toleransi 30%
- 2 Bila nilai telah ditetapkan tetapi tidak dinyatakan sebagai nilai batas, maka nilai tersebut dianggap sebagai nilai pengenalan dan diberlakukan toleransi  $\pm 15\%$
- 3 Bila tidak ditetapkan atau disepakati nilainya, pabrikan harus menyatakan nilai pengenalan yang menguntungkan pembeli dengan toleransi  $\pm 15\%$ .

### 17 Kekuatan mekanis terhadap jumlah asut untuk generator normal

Kecuali disepakati lain, rotor harus didesain dengan ketahanan mekanis terhadap tidak kurang dari 3000 asut selama umur pemakaiannya.

### Pasal tiga — Mesin berpendingin udara

Pasal ini berlaku terhadap mesin dengan bagian aktif didinginkan dengan udara, baik langsung atau tak langsung atau kombinasi kedua metode tersebut.

### 18 Faktor daya

Standar faktor daya pada terminal mesin adalah 0,8 dan 0,85 terbelakang (penguatan lebih)

**CATATAN** Nilai lainnya dapat disepakati (makin kecil faktor daya akan makin besar mesin).

### 19 Rasio arus hubung singkat (lihat pula sub-ayat 16.1)

Nilai yang diukur untuk rasio arus hubung singkat pada tegangan pengenalan dan arus stator pengenalan adalah:

- ☐ Untuk keluaran pengenalan tidak melampaui 80 MVA, tidak kurang dari 0.45
- ☐ Untuk keluaran pengenalan di atas 80 MVA tetapi tidak melebihi 150 MVA, tidak kurang dari 0.40.



- Untuk keluaran pengenal di atas 150 MVA : dengan kesepakatan

## 20 Pendinginan mesin

Sistem ventilasi sangat dianjurkan menggunakan sistem aliran udara tertutup. Jika ditetapkan atau disepakati sistem udara terbuka, harus dijaga agar terhindar dari kontaminasi kotoran pada jalur ventilasi, untuk menghindari pemanasan lebih. Jika dilengkapi cincin geser, harus diberi ventilasi terpisah untuk menghindari generator dan penguat terkontaminasi debu karbon.

## 21 Suhu bahan pendingin primer

Mesin selain dari mesin yang digerakkan turbin gas harus sesuai SNI 04-1933-1990. Jika dipakai suhu maksimum udara sekitar atau udara pendingin primer dimana digunakan udara yang berpendingin air, berbeda dari 40 °C, maka berlaku ayat yang sesuai SNI 04-1933-1990. Persyaratan khusus bagi mesin yang digerakkan turbin gas ditentukan dalam ayat 34 dan 35.

## 22 Detektor suhu

Untuk memonitor suhu belitan stator, sekurang-kurangnya diperlukan enam detektor suhu tertanam sesuai SNI 04-1933-1990. Jumlah detektor suhu dibagian udara masuk (Pemasukkan udara) ke mesin harus disepakati.

## 23 Pendingin udara

Kecuali disepakati lain, maka pendingin harus dapat mendinginkan air yang masuk hingga 32°C dan tekanan kerja tidak kurang dari 1.7 bar (170 kPa).

Tekanan uji harus 1,5 kali tekanan kerja maksimum dan diterapkan selama 15 menit.

Jika tekanan air dalam pendingin dikendalikan oleh katup atau sarana penurun tekanan yang dihubungkan ke suplai air yang tekanannya lebih tinggi dari tekanan kerja pendingin, maka pendingin harus didesain untuk tekanan yang lebih besar dan diuji pada 1,5 kali nilai tekanan yang lebih besar tadi, kecuali disepakati lain, maka tekanan ini harus ditetapkan oleh pembeli.

Pendingin harus didesain sedemikian sehingga, jika satu seksi akan diambil/dikeluarkan untuk pembersihan, unit dapat menanggung sekurang-kurangnya dua pertiga beban pengenal (atau berdasarkan kesepakatan, sebagian kecil beban pengenal secara kontinu) tanpa bagianbagian yang aktif mesin melampaui suhu yang diizinkan.

Pada keadaan ini suhu udara pendingin primer dapat lebih tinggi dari nilai desain.

Pasal empat – Mesin yang didinginkan dengan hydrogen atau cairan

Bagian ini berlaku untuk mesin yang bagian aktifnya didinginkan langsung atau tak langsung oleh hydrogen, gas atau cairan, atau kombinasi keduanya. Beberapa mesin dapat



menggunakan gas selain hidrogen, jika demikian, maka akan berlaku aturan yang sama, jika hal ini dapat diterapkan.

## 24 Tekanan hydrogen dalam rumah mesin (*casing*)

Pabrikan harus menyatakan tekanan hidrogen dalam rumah mesin pada saat mesin menghasilkan keluaran pengenal

Nilai tekanan hidrogen sebaiknya

|     |     |     |     |     |     |     |
|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 1   | 2   | 3   | 4   | 5   | 6   | bar |
| 100 | 200 | 300 | 400 | 500 | 600 | kPa |

Nilai ini adalah nilai tekanan pengukuran, yaitu nilai diatas tekanan atmosfer

## 25 Faktor daya

Nilai faktor daya standar di terminal mesin adalah 0,85 dan 0.9 terbelakang (penguatan lebih).

**CATATAN** Nilai lainnya dapat disepakati, faktor daya yang lebih kecil akan memperbesar ukuran mesin.

## 26 Rasio Hubung singkat (lihat juga sub-ayat 16.1)

Nilai hubung singkat yang diukur pada tegangan pengenal dan arus stator pengenal harus:

- Untuk keluaran pengenal tidak lebih dari 200 MVA; tidak kurang dari 0.45
- Untuk keluaran pengenal diatas 200 MVA tetapi tidak lebih dari 800 MVA; tidak kurang dari 0.40
- Untuk keluaran pengenal diatas 800 MVA; tidak kurang dari 0,35.

## 27 Rumah mesin dan pelat penutup

Seluruh bagian rumah mesin dan pelat penutup yang dikenai tekanan (misalnya pendingin yang berlebihan) yang menggunakan hydrogen sebagai bahan pendingin, harus didesain tahan terhadap ledakan internal dengan ledakan mula pada tekanan atmosfer, tanpa membahayakan orang. Jika dikehendaki oleh pembeli pada saat pemesanan, dapat dilakukan uji tekanan hidrostatik untuk memeriksa kekuatan rumah mesin dan pelat penutup. Suaw pengujian yang mcmadai dapat dilakukan dengan menggunakan tekanan pengukuran 8 bar (800 kPa) selama 15 menit.

**CATATAN** Pada beberapa negara, aturan atau standar yang telah ada dapat menunjukkan persyaratan uji yang berbeda.

## 28 Terminal belitan stator



Terminal untuk mesin yang didinginkan dengan hidrogen harus didesain agar tahan terhadap tekanan gas sekurang-kurangnya 8 bar (800 kPa).

Isolator terminal harus diuji listrik secara terpisah dari belitan mesin dan harus tahan selama 60 detik dielektrik kering frekuensi daya di udara tidak kurang dari 1,5 kali uji tegangan satu menit dari belitan mesin.

**CATATAN** Jika terminal didinginkan dengan cairan, penyambung dari bahan pendingin tidak dikenai uji tegangan tinggi.

## 29 Suhu bahan pendingin primer, suhu dan kenaikan suhu mesin

Mesin selain yang digerakkan turbin gas harus sesuai dengan SNI 04-1933-1990.

Suhu maksimum bahan pendingin primer, hydrogen atau cairan, dapat berbeda dari 40 °C, (misalnya, untuk memperoleh desain pendingin yang ekonomis dengan suhu maksimum yang ditetapkan bagi bahan pendingin sekunder); jika demikian.

- Untuk mesin yang tidak didinginkan langsung, berlaku ayat yang sesuai dengan SNI 1933-1999 yang menyangkut pengaturan kenaikan suhu mesin yang didinginkan dengan udara.
- Untuk mesin yang didinginkan langsung, suhu total yang ditetapkan dalam tabel yang sesuai dengan SNI 04-1933-1990 diterapkan tanpa perubahan

**CATATAN** Agar supaya terhindar dari kenaikan suhu yang berlebihan atau julat suhu yang terlalu melebar, maka suhu maksimum bahan pendingin biasanya tidak menyimpang dari 40 °C ± 10 K.

Persyaratan khusus untuk mesin yang digerakkan oleh turbin gas diberikan dalam ayat 34 dan 35.

## 30 Ketinggian

Mesin harus dapat beroperasi pada tekanan gas pengenal pada ketinggian tidak lebih dari 1000 m di atas permukaan laut.

**CATATAN** Mesin standar dapat beroperasi pada keluaran pengenal dengan ketinggian melebihi 1000m, asalkan sistem pendingin sedemikian hingga tekanan absolut pengenal dari bahan pendingin primer (hydrogen) dapat dipertahankan yang tidak tergantung pada ketinggian, tetapi harus disepakati dengan pabrikan dalam hal pengendap, rumah mesin dan peralatan bantu.

## 31 Detektor suhu

Sekurang-kurangnya enam detektor suhu tertanam harus disiapkan sesuai SNI 04-1933-1990 Untuk mesin yang didinginkan langsung, penting untuk dicatat bahwa suhu yang diukur dengan detektor suhu tertanam tidak menunjukkan suhu titik-terpanas dari belitan stator. Penyelidikan pada suhu maksimum bahan pendingin yang diberikan pada tabel III SNI 04-1933-1990 akan menjamin bahwa suhu belitan tidak akan berlebih.

Batas suhu yang diizinkan yang diukur dengan detektor suhu tertanam antar sisi gulungan



dimaksudkan sebagai pengaman terhadap pemanasan berlebih dari isolasi inti. Hasil ukur detektor suhu tertanam dapat digunakan untuk memantau operasi sistem pendingin dari belitan stator.

Jumlah detektor suhu yang mengukur suhu bahan pendingin yang memasuki mesin harus disepakati.

Untuk mesin dengan pendinginan langsung pada belitan stator suhu media pendingin disisi keluar belitan harus diukur dengan sekurang-kurangnya tiga detektor. Detektor ini seharusnya kontak benar dengan bahan pendingin. Oleh karena itu, jika belitan didinginkan dengan gas detektor tersebut seharusnya dipasang dekat terowongan keluar dari gulungan sehingga konsisten dengan persyaratan listrik. Jika belitan didinginkan dengan air detektor tersebut seharusnya dipasang pada sistem pipa (pemipaan) didalam rangka mesin atau sedekat mungkin bila dapat dilaksanakan pada bahan pendingin yang meninggalkan kerangka harus dijaga sehingga tidak ada perbedaan suhu yang berarti antara titik pengukuran dan titik dimana bahan pendingin meninggalkan belitan.

### 32 Gas atau cairan pendingin

Pendingin harus memadai untuk suhu air masuk hingga 32° C dan tekanan kerja tidak kurang dari 3,5 bar (350kPa) jika tidak memadai maka perlu disepakati. Tekanan uji harus 1,5 kali tekanan kerja maksimum dan harus diterapkan selama 15 menit. Jika tekanan air dalam pendingin dikendalikan oleh katup atau gawai pengurang tekanan yang dihubungkan dengan suplai air yang tekanannya lebih tinggi dari tekanan kerja pendingin maka pendingin harus didesain untuk tekanan yang lebih tinggi tersebut, dan diuji pada 1,5 kali nilai tekanan yang lebih tinggi tersebut. Tekanan ini harus ditetapkan oleh pembeli kecuali disepakati lain.

Perlu diperhatikan bahwa kenyataannya pada beberapa kondisi operasi yaitu selama pemeliharaan atau selama pembersihan selubung gas, suatu pendingin dapat dikenai tekanan gas tanpa tekanan air, sehingga harus didesain untuk tekanan yang memiliki perbedaan sebesar 8 bar (800 Kpa) disisi gas.

Pendingin harus didesain sedemikian sehingga, jika satu seksi akan dikeluarkan untuk pembersihan, unit dapat menanggung dua pertiga atau lebih kecil tetapi dengan persetujuan) dari beban pengenal secara kontinu, tanpa melampaui suhu yang diizinkan dibagian aktif mesin. Dalam kondisi ini, suhu bahan pendingin perimer dapat lebih tinggi dari nilai desain.

### 33 Sistem alat bantu

Sebagian atau seluruh perlengkapan berikut diperlukan untuk mengoperasikan mesin secara memuaskan yang terdapat pada pasal empat, tergantung dari desain bahan pendingin dan sistem bantu. Daftar tersebut tidak semuanya lengkap secara detil, dan perlengkapan lain dapat disertakan.

- a) Sistem pendingin untuk gas lengkap (hydrogen atau gas lainnya), dengan pengatur yang memadai untuk mengendalikan tekanan gas dalam mesin, memadai untuk menyambung ke suplai gas dan pengering gas.



- b) Sistem yang lengkap untuk mengumpulkan gas (terutama karbon dioksida) yang memadai untuk disambungkan ke suplai gas sehingga dapat terisi dengan aman dan terkumpulnya hidrogen.

Jika sistem udara bertekanan dari pembangkit listrik digunakan untuk mengumpulkan gas dari rumah mesin, sambungan ke sistem udara diatur sehingga menjamin udara tidak dibebaskan ke mesin kecuali untuk menghembuskan gas yang terkumpul, misalnya dengan menggunakan, hubungan pipa yang dapat dilepas.

- c) Indikator dan gawai alarm yang diperlukan memungkinkan untuk menjaga derajat kemurnian hidrogen yang disyaratkan dan memungkinkan memantau kemurnian gas terkumpul sementara rumah mesin dikosongkan dari hidrogen. Dua sarana pengukur kemurnian yang tidak saling tergantung harus dilengkapi.
- d) Perlengkapan untuk memantau minyak perapat dan jika diperlukan untuk membuang gas dan air dari mesin.
- Perlu dilengkapi cadangan suplai minyak pengedap untuk mengatasi keadaan darurat yang dapat beroperasi otomatis jika suplai utama gagal.
- e) Sistem pendinginan minyak lengkap dengan pompa, pendingin dan filter dan dengan pengatur yang memadai untuk mengendalikan suhu cairan pendingin.
- f) Sarana untuk mendeteksi pengurangan atau hilangnya aliran cairan yang melalui belitan.
- e) Sarana pengukur konduktivitas air yang digunakan untuk mendinginkan belitan mesin dan menjaganya pada nilai yang cukup rendah.
- h) Instrumen pengukuran dan alarm untuk menunjukkan berfungsinya semua alat bantu dan tekanan cairan dalam mesin; juga sarana untuk membuang cairan.

#### **Pasal lima – Mesin jenis-turbin yang digerakkan oleh turbin gas**

Pasal ini berlaku untuk mesin tipe turbin yang digerakkan turbin gas, dengan pendinginan udara sirkuit terbuka, atau pendingin sirkuit tertutup yang menggunakan udara atau hydrogen, dengan air atau udara sekitar sebagai bahan pendingin akhir.

Persyaratan ini juga berlaku ketika generator beroperasi tanpa kopel sebagai kompensator sink ron.

### **34 Kondisi pelayanan**

Generator yang digerakkan turbin gas bakar dan memenuhi standar ini harus dapat memikul beban sesuai pengenalnya dengan kemampuan berdasarkan kondisi pelayanan berikut.

#### **34.1 Suhu bahan pendingin primer**

Untuk generator dengan pendingin udara sirkuit terbuka, suhu bahan pendingin primer adalah suhu udara yang memasuki mesin. Suhu ini biasanya suhu udara keliling. Julat suhu ditetapkan oleh pembeli, biasanya 5 °C hingga 40 °C.

Untuk mesin dengan pendinginan sirkuit tertutup, suhu bahan pendingin primer adalah suhu udara atau hydrogen yang masuk ke mesin dari alat pendingin. <sup>v</sup>Julat suhu bahan pendingin ini ditetapkan oleh pabrikan, untuk menghasilkan desain yang optimum dari mesin dan alat pendingin, berdasarkan julat suhu bahan pendingin sekunder (akhir) yang merupakan suhu



udara sekitar atau air yang ditetapkan pembeli.

### 34.2 Jumlah asut

Jumlah asut per tahun untuk beban pengenalan tidak melampaui 500.

### 34.3 Penerapan beban

Generator dapat segera dibebani, dan julat pembebanan generator dibatasi hanya oleh kemampuan turbin untuk menanggung beban.

## 35 Pengenal dan kemampuan

### 35.1 Keluaran pengenalan

Keluaran pengenalan generator adalah daya semu yang dapat dibangkitkan secara kontinu di terminal pada frekuensi pengenalan, tegangan pengenalan, dan faktor daya pengenalan dan tekanan hidrogen jika dapat diterapkan, dengan suhu bahan pendingin primer 40 °C di lokasi kerja, kecuali disepakati lain antara pembeli dan pabrikan.

Turbin gas biasanya ditentukan oleh ISO pada suhu udara masuk 15 °C, dan generator ditentukan oleh IEC pada suhu udara masuk 40 °C. Oleh karena itu turbin gas dan generator dengan kemampuan yang sama akan memiliki pengenalan yang berbeda. Pada keluaran pengenalan, kenaikan suhu dalam tabel I dan tabel II atau suhu dalam tabel III SNI 04-1933-1990 tidak boleh dilampaui.

Parameter generator harus ditentukan berdasarkan pengenalan ini kecuali disepakati lain antara pembeli dan pabrikan.

### 35.2 Kemampuan

Kemampuan generator adalah pembebanan tertinggi dari daya semu berdasarkan kondisi operasi.

#### 35.2.1 Kemampuan dasar

Kemampuan dasar adalah julat keluaran kontinu dinyatakan dalam daya semu yang didapat pada terminal pada operasi di lokasi kerja pada frekuensi pengenalan, tegangan pengenalan dan faktor daya pengenalan, dan tekanan hidrogen pengenalan. Jika dapat dilakukan, sesuai dengan julat suhu bahan pendingin akhir yang ditetapkan untuk operasi di lokasi kerja (lihat sub-ayat 34.1) dengan kenaikan suhu atau suhu-suhu (yang sesuai) tidak melampaui nilai-nilai yang ditetapkan dalam sub ayat 35.2.2

Kemampuan dasar generator dalam daya semu dibagi efisiensi generator harus sama atau melampaui kemampuan dasar turbin gas dalam julat suhu udara yang ditetapkan di sisi masuk turbin di lokasi kerja.

Pabrikan harus menyediakan kurva kemampuan dasar pada kondisi di lokasi kerja dalam julat suhu bahan pendingin akhir yang ditetapkan (lihat gambar 3). Untuk mesin dengan pendinginan sirkuit terbuka( suhu bahan pendingin harus sama atau mendekati sama dengan suhu udara pada titik masuk turbin (skala A pada gambar 3).

Dapat disepakati di bawah suhu udara yang rendah tidak perlu kemampuan generator sama



dengan kemampuan turbin.

Dimungkinkan memakai generator yang lebih kecil dengan memenuhi persyaratan lainnya. Dalam mesin pendinginan udara sirkuit tertutup, dengan menggunakan penukar panas dengan air, julat suhu air (bahan pendingin akhir) normalnya akan lebih kecil dari julat suhu udara di tempat udara masuk turbin. Dengan sendirinya, karena suhu udara turun maka kemampuan generator meningkat (jika keseluruhannya) lebih lambat dari kemampuan turbin. Dengan demikian ukuran generator ditentukan oleh keluaran turbin pada suhu udara yang rendah dan menjadi tidak ekonomis pada suhu di atas udara suhu lebih dari biasa. Pada kondisi-kondisi ini kesepakatan untuk membatasi kemampuan generator menjadi lebih penting dalam menentukan ukuran generator yang Optimum. Dengan pendinginan tertutup terdapat pertimbangan lebih lanjut bahwa tidak ada hubungan sederhana atau konstan antara suhu udara ditempat masuk ke turbin dengan suhu air pendingin. Oleh karena itu gambar 3 menunjukkan kemampuan generator terhadap suhu bahan pendingin akhir digambarkan dalam skala B.

Untuk semua alasan ini, harus ada kesepakatan antara pembeli dan pabrikan mengenai peningkatan sehingga kemampuan generator akan cocok dengan turbin.

### 35.2.2 Suhu dan kenaikan suhu pada kemampuan dasar

Untuk mesin yang didinginkan tak langsung, kenaikan suhu ketika beroperasi di lokasi kerja harus sesuai tabel I atau tabel II dari SNI 04-1933-1990, yang diatur sebagai berikut;

- a) Untuk suhu bahan pendingin primer dari 10 °C hingga 60 °C tambahkan (40 – suhu bahan pendingin primer) K;
- b) Untuk suhu bahan pendingin dibawah 10 °C tetapi tidak kurang dari -20 °C, dan untuk mesin dengan panjang aktif:
  1. Kurang dari 2,5 m ; tambahkan  $30K + 1/2 (10 - \text{suhu bahan pendingin})$  K.
  2. 2,5 m atau lebih, tambahkan 30 K
- c) Untuk suhu bahan pendingin primer di atas 60 °C atau di bawah -20 °C, perlu ada kesepakatan.

Untuk belitan yang didinginkan langsung oleh udara atau hidrogen suhu total ketika beroperasi di lokasi kerja harus sesuai dengan batas pada tabel III SNI 04- 1933-1990, yang diatur sebagai berikut:

- a) Untuk suhu bahan pendingin primer dari 10 °C hingga 60 °C, tidak ada penyesuaian
- b) Untuk suhu bahan pendingin dibawah 10 °C tetapi tidak kurang dari -20 °C, dan untuk mesin dengan panjang inti aktif.
  1. Kurang dari 2,5 m, kurangi  $1/2 (10 - \text{suhu bahan pendingin primer})$  K :
  2. 2,5 m atau lebih; kurangi  $(10 - \text{suhu bahan pendingin primer})$  K
- c) Untuk bahan pendingin primer di atas 60 °C atau di bawah -20 °C, perlu ada kesepakatan.

### 35.2.3 Kemampuan puncak

Kemampuan puncak adalah julat keivaran kontinu yang dinyatakan dalam daya semu yang diperoleh di terminal mesin di lokasi kerja pada frekuensi pengenal, tegangan pengenal dan faktor daya pengenal dan tekanan hidrogen jika dapat diterapkan, sesuai dengan julat suhu



bahan pendingin akhir yang ditetapkan untuk operasi di lokasi kerja (lihat sub ayat 34.1) dengan kenaikan suhu atau suhu-suhu (yang sesuai) tidak melebihi nilai yang diberikan dalam sub ayat 35.2.4.

Pertimbangan dalam sub ayat 35.2.1 mengenai hubungan antara kemampuan dasar generator dan turbin berlaku pula untuk kemampuan puncak.

#### **35.2.4 Suhu dan kenaikan suhu pada kemampuan puncak**

Untuk mesin yang didinginkan tak langsung, batas kenaikan suhu pada kemampuan puncak akan lebih besar 15K dibandingkan dengan nilai yang diberikan dalam sub ayat 35.2.2. Untuk belitan yang didinginkan langsung oleh udara atau hydrogen, batas suhu total akan lebih besar 15K dibandingkan dengan yang tercantum dalam sub-ayat 35.2.2.

**CATATAN** Pengoperasian pada kemampuan puncak akan mengurangi umur mesin, karena penuaan termal isolasi hingga tiga sampai enam kali laju penuaan pada suhu ketika beroperasi pada kemampuan dasar.

### **36 Pelat pengenalan**

Pelat pengenalan akan menunjukkan informasi yang dinyatakan dalam SNI 04-1933-1990, ditambah nilai keluaran kemampuan puncak pada suhu bahan pendingin primer yang menjadi dasar dari pengenalan.

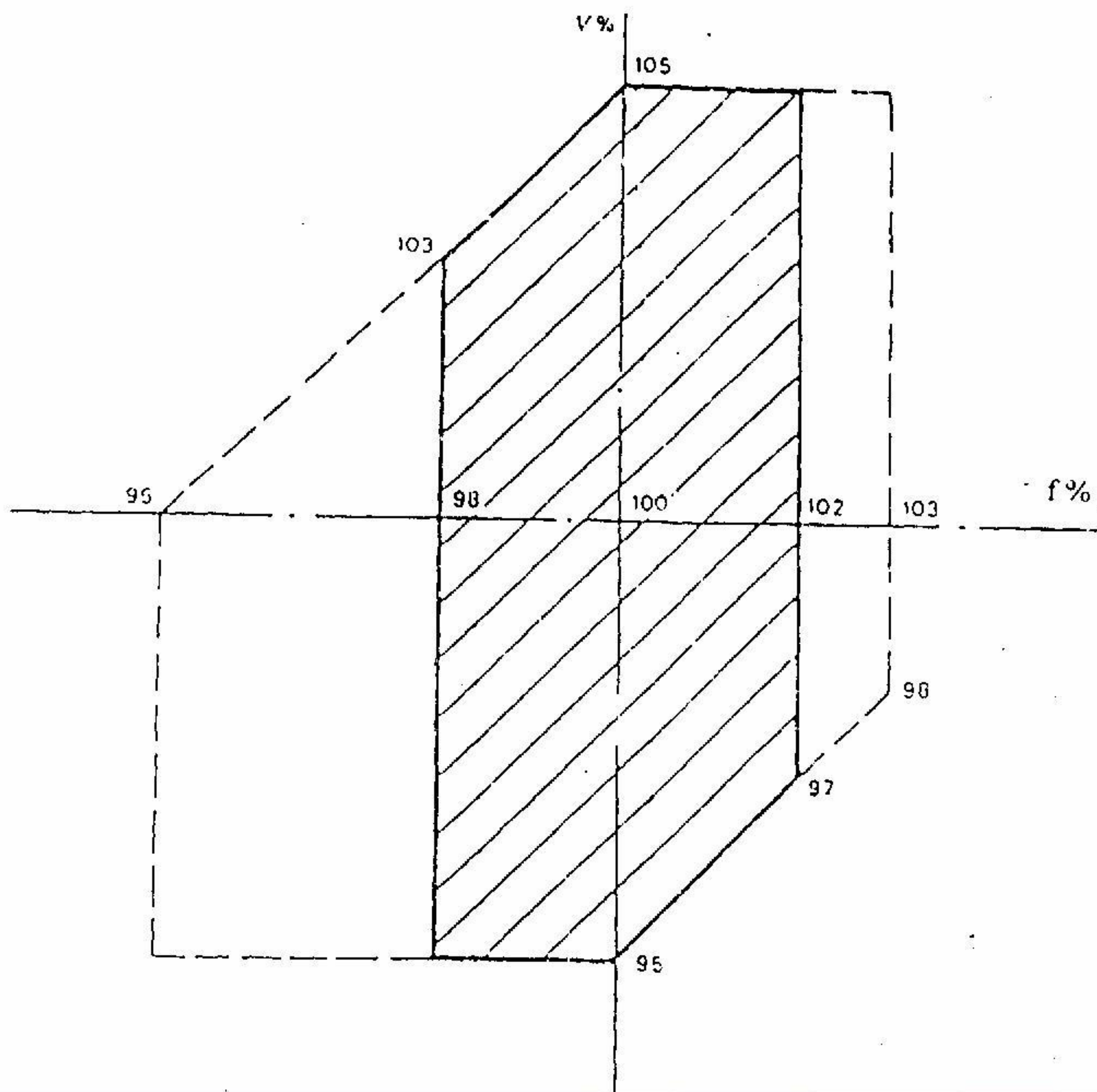
### **37 Uji Suhu**

Pengujian ini dapat dilakukan pada beban pengenalan dan pada suhu bahan pendingin primer yang menjadidimana dijadikan dasar dalam menentukan pengenalan atau jika disepakati pada suhu bahan pendingin primer sesuai dengan keluaran kemampuan dasar. Suhu atau kenaikan suhu harus sesuai sub ayat 35.2.2 yang dikoreksi. jika perlu terhadap perbedaan ketinggian dari permukaan laut antara tempat uji dan lokasi kerja sesuai SNI 04-1933-1990.

### **38 Operasi sebagai kompensator sinkron**

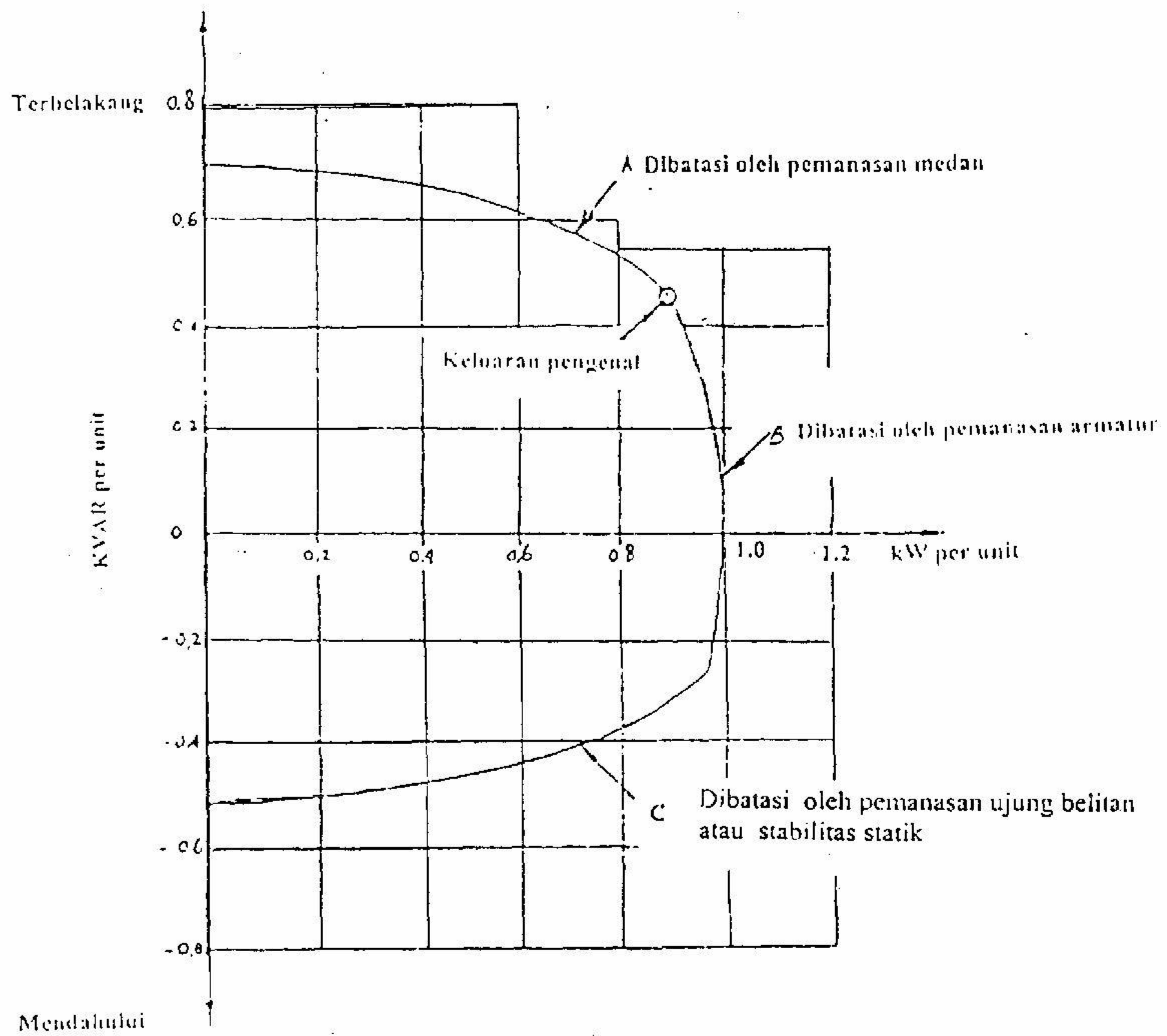
Jika ditetapkan oleh pembeli; pabrikan harus membuat aturan untuk mesin yang beroperasi sebagai kompensator sinkron yang tidak dikopel dengan turbin gas. Keadaan penguatan kurang dan penguatan lebih dan kemampuan puncak dalam keadaan operasi sebagai kompensator harus disepakati.





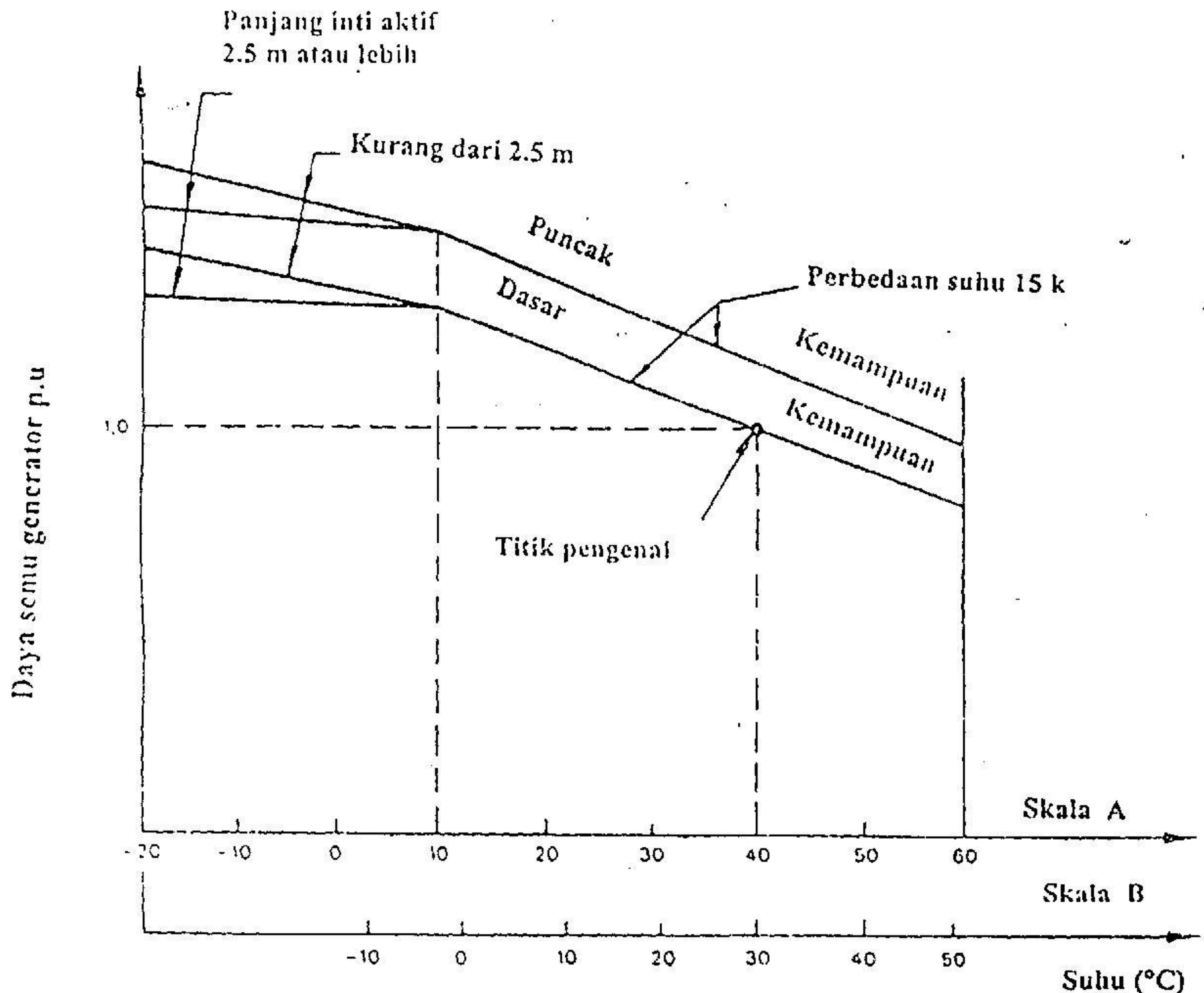
**Gambar 1 - Operasi dalam julat tegangan dan frekuensi**  
 (lihat ayat 5 untuk kondisi yang berhubungan dengan operasi dalam tegangan dan frekuensi yang diperlihatkan disini)





Gambar 2 - Tipikal diagram kemampuan (lihat ayat 13)





Skala A adalah suhu bahan pendingin ( $^{\circ}\text{C}$ ) untuk mesin berpendingin udara dengan sirkuit terbuka. suhu ini mendekati lama dengan suhu udara yang masuk turbin.

Skala B adalah suhu bahan pendingin ( $^{\circ}\text{C}$ ) untuk mesin yang didinginkan dengan sirkuit tertutup menggunakan udara atau hidrogen sebagai bahan pendingin primer.

**Gambar 3** Tipikal kurva generator (lihat sub-ayat 35.2)

**CATATAN 1** Kurva yang diberikan berlaku untuk mesin tertentu dapat diperlukan hanya dalam julat suhubahan pendingin yang ditentukan. Untuk mesin dengan penukar panas, tidak perlu ditunjukkan skala suhu bahan pendingin primer. Kedua skala suhu bahan pendingin akhir disini hanya untuk menunjukan suatu bentuk dalam diagram.

**CATATAN 2** Kurva tipikal ini tidak keluar dari suhu bahan pendingin primer antara  $-20^{\circ}\text{C}$  sampai dengan  $60^{\circ}\text{C}$ , sebab diluar julat ini persyaratan unjuk kerja disepakati antara pabrikan dan pembeli.

**CATATAN 3** Dengan suhu bahan pendingin primer dibawah  $+10^{\circ}\text{C}$ , mesin dengan panjang inti 2,5 m atau lebih beroperasi dengan batas kenaikan suhu yang tepat. Kenaikan keluaran yang kecil dimungkinkan, karena penurunan suhu total mengurangi resistans belitan.





















**BADAN STANDARDISASI NASIONAL - BSN**  
Gedung Manggala Wanabakti Blok IV Lt. 3-4  
Jl. Jend. Gatot Subroto, Senayan Jakarta 10270  
Telp: 021- 574 7043; Faks: 021- 5747045; e-mail : [bsn@bsn.or.id](mailto:bsn@bsn.or.id)